

*COOPERATION SUR LA TECHNOLOGIE DES ENGRAIS. UNE
NOUVELLE APPROCHE POUR LA VALORISATION DES PHOSPHATES
NATURELS DE CHINE.*

* * * * *

CIRAD - TECHNIFERT - SAHUT CONREUR

* * *

FEVRIER 1992

S O M M A I R E

1. INTRODUCTION
2. CARACTERISATION DES PHOSPHATES
3. ATTAQUES PARTIELLES DES PHOSPHATES
4. EVALUATION AGRONOMIQUE
5. TRAITEMENT DES MINERAIS PAR PREFRAGILISATION
6. GRANULATION DES ENGRAIS PAR COMPACTAGE
7. CONCLUSIONS

* * * *

ANNEXES

BIBLIOGRAPHIE

* * *

TAB. 1 PHOSPHATES DU YUNNAN

Echantillons moyens

Composition chimique en % du minerai

Elément		KUNYANG	JINNING
P ₂ O ₅	en %	26,3	20,4
CaO	"	35,8	27,1
SiO ₂	"	28,8	36,2
Al ₂ O ₃	"	0,99	2,65
Fe ₂ O ₃	"	0,96	1,40
MgO	"	0,21	1,17
K ₂ O	"	0,31	0,81
Na ₂ O	"	0,18	0,10
MnO	"	0,06	0,16
CO ₂	"	0,61	1,98
C org.	"	0,07	0,15
H ₂ O	"	1,19	1,70
S	"	0,15	0,07
F	"	1,83	1,57
Cl	ppm	54	115

I. INTRODUCTION

La CHINE se situe au 3ème rang dans le monde, pour la consommation des engrais, avec 20 millions de tonnes d'unités fertilisantes. Cependant, compte tenu de sa taille et de sa population, elle doit faire face à une demande croissante en engrais, en particulier phosphatés et potassiques.

Récemment, le Comité d'Etat pour la Science et la Technologie ¹ estime que 74 % des terres cultivées sont "en manque" d'engrais phosphatés, et qu'il est "extrêmement urgent" d'explorer les ressources nationales en phosphates et de développer l'industrie des engrais phosphatés pour répondre à ces besoins, et pour arrêter la sortie des devises, évaluées à 700 millions de dollars par an pour l'importation de 1,5 millions de tonnes de P_2O_5 .

En fait la CHINE possède de nombreux gisements de phosphates naturels (voir annexes), les réserves sont estimées à 12 milliards de tonnes par ZHANG KAIYAN (1985) et à 20 milliards par CHESSON (1988) pour une teneur moyenne de 20 % de P_2O_5 . L'exploitation actuelle est de l'ordre de 12 millions de tonnes par an, ce qui laisse beaucoup de possibilités de développement.

Cependant ces phosphates sont en majorité (80 %) d'origine sédimentaire marine ancienne, très endurés, chargés en silice (20-25% SiO_2), en féral (6-9 % R_2O_3), en dolomie (4-9 % MgO), avec des teneurs moyennes à faibles en P_2O_5 .

Ces caractéristiques sont difficilement compatibles avec la politique générale du pays qui cherche à produire des engrais à haut titre comme le supertriple (TSP à 45 % de P_2O_5) ou le phosphate di-ammonique (DAP à 46 % de P_2O_5). La fabrication de ces derniers exige en effet des minerais riches en P_2O_5 , peu chargés en magnésium, féral, silice... ce qui suppose un traitement préalable de la plupart des minerais, en particulier par flottation avec des liqueurs denses, et le coût de cette opération est très élevé.

Le problème est donc complexe, touchant plusieurs disciplines : l'agronomie, la technologie des engrais, l'exploitation minière, l'économie sans doute c'est à partir d'une réflexion commune que ressortiraient les solutions les plus adaptées. En tout cas, c'est notre tentative, dans le cadre d'un projet de coopération depuis 1989, avec l'Institut des Sciences du Sol Academia Sinica (ISSAS) de Nanjing, l'Institut de Chimie Industrielle (ICI) de Kunming, et plus récemment avec la Société Import Export des Produits Chimiques du Yunnan (YPCIEC), essentiellement dans trois axes :

- La mise au point des phosphates partiellement solubilisés (PSP), qui se situeraient entre les engrais classiques à faible teneur comme le supersimple (SSP à 16-18 % de P_2O_5) et le phosphate fondu (CMP à 14-15 % de P_2O_5) difficiles à

¹ China Chemical Reporter N° 5 du 1er mars 1991.

TAB.2 PHOSPHATES DU YUNNAN

Echantillons moyens

Solubilité dans différents réactifs, en % du P total

	KUNYANG	JINNING
Solubilité dans l'eau	0,10	0,11
Citrate neutre AOAC	7,2	6,8
Acide citrique 2 %	23,7	23,1
Acide formique 2 %	29,8	25,2
Surface spécifique m ² /g	3,70	1,22

transporter à longues distances, et les engrais à haut titre difficiles à produire en grandes quantités.

- L'enrichissement des minerais par préfragilisation utilisant les techniques de compactage pour créer des fissures au sein des clivages minéralogiques, ce qui faciliterait les broyages et séparations granulométriques.
- La granulation des engrais complexes par compactage, permettant d'utiliser une gamme plus large de matières premières, de donner plus de flexibilités dans les équilibres des éléments nutritifs, permettant ainsi de mieux répondre aux besoins des plantes, et enfin de faciliter les transports et les épandages.

Nous passerons en revue, brièvement, ces différentes étapes, pour plus de détails, nous inviterons les lecteurs à se reporter aux documents cités dans la bibliographie.

2. CARACTERISATION DES PHOSPHATES

Nous avons reçu cinq phosphates, 4 du Yunnan : KUNYANG, JINNING, HAIKOU riche, HAIKOU pauvre, et un du HUNAN : SHIMEN.

Par souci de simplicité et de cohérence, nous présentons les résultats de 2 phosphates qui semblent assez représentatifs de l'ensemble :

- * KUNYANG, qui est la plus grande mine exploitée actuellement et dont le minerai alimente de nombreuses usines d'engrais en CHINE, et il est très connu et sert de point de référence.
- * JINNING, avec une réserve importante, 90 millions de tonnes, mais une teneur faible en P_2O_5 , et chargé en gangues, donc difficile à traiter.

La caractérisation des minerais comporte une analyse chimique totale, la minéralogie, la cristallographie, les tests de broyage, la solubilité dans différents réactifs, pour connaître en détail les particularités des échantillons, mesurer leur réactivité, prévoir les réactions en cas d'attaque acide et éventuellement les produits néoformés au cours de ces attaques.

Les résultats (tableaux 1 et 2) montrent que Kunyang a une teneur moyenne en P_2O_5 et CaO, élevée en SiO_2 , et que Jinning, comme attendu, à une teneur faible en P_2O_5 et CaO, très élevée en SiO_2 .

Les paramètres cristallographiques témoignent d'apatites peu substituées, donc peu réactives, dures, appartenant à la famille des fluorapatites.

Sur le plan pratique, il s'agit de phosphates peu indiqués pour l'utilisation directe avec de faibles surfaces spécifiques et difficiles à solubiliser surtout Jinning.

3. ATTAQUES PARTIELLES DES PHOSPHATES

Compte tenu des caractéristiques des minerais, une solubilisation totale consommerait beaucoup d'acides, et serait superflue et peu économique. Une attaque partielle, en optimisant le rapport solubilité/quantité d'acide, pourrait donner des produits aussi efficaces et à moindre coût. En effet l'efficacité d'un engrais dépend en grande partie de sa réaction avec le milieu (sols, climats) et les cultures.

L'attaque partielle vise à créer un effet starter avec la partie solubilisée qui va faciliter la croissance initiale de la plante et en particulier un meilleur enracinement. Comme le phosphore est très peu mobile dans le sol, plus un système racinaire est développé mieux il intercepte et absorbe les ions phosphates, et avec le temps même la partie non attaquée serait mieux utilisée.

Il est donc très important qu'un maximum de particules de phosphates soit partiellement solubilisé pour créer une multitude d'effet starter in situ, ce qui suppose une attaque en mouvement et encore mieux en tourbillon et non une attaque en masse.

Ainsi l'attaque partielle n'est pas seulement une étape inachevée de la fabrication du superphosphate, c'est une conception différente, qui tient compte des caractéristiques des matières premières, du milieu d'utilisation et de la plante.

Pour bien cerner les réactions des phosphates, il est donc envisagé de les traiter sous différents angles :

- nature des acides, sulfurique, phosphorique, nitrique, et leur mélange,
- différentes doses et concentrations d'acides.
- attaques complexes avec des sels d'ammonium.

Les différentes combinaisons sont présentées dans les tableaux 3 et 4 pour Kunyang, elles sont similaires pour Jinning.

Les références des attaques (30, 60, ...) représentent les pourcentages d'acides utilisés par rapport à la quantité totale (100) requise pour la solubilisation totale.

TAB. 3

Phosphate de KUNYANG : différents types d'attaque

Références des Attaques	Acide d'attaque	Titre %	Quantités (*)
Sulf-30	Acide Sulfurique	48,5	27,2
Sulf-60	Acide Sulfurique	65,3	40,3
Phos-30	Ac.Phosphorique	35,0	28,8
Phos-60	Ac.Phosphorique	45,0	44,9
Phos-30-S	Ac.Phosphorique	35,0	28,8
Soufre			4,0
Phos-60-S	Ac.Phosphorique	45,0	44,9
Soufre.....			6,0
Sulf-Phos 30	Acide Sulfurique	48,5	13,6
	Ac.Phosphorique	35,0	14,4
Sulf-Phos 60	Acide Sulfurique	65,3	20,1
	Ac.Phosphorique	45,0	22,5
Sulf-Nitr 30	Acide Sulfurique	48,5	13,6
	Acide Nitrique	56,0	7,6
Complexe 1	Acide Sulfurique	50,0	21,0
MAP.....			11,0
Complexe 2	Acide Sulfurique	50,0	21,0
MAP.....			16,6
Complexe 3	Acide Sulfurique	50,0	21,0
MAP.....			11,0
SO ₄ (NH ₄) ₂			5,6
Complexe 4	Acide Sulfurique	50,0	21,0
MAP.....			16,6
SO ₄ (NH ₄) ₂			3,6

(*) Les quantités sont données pour 100 de phosphate sec.

TAB. 4

PHOSPHATES DE KUNYANG (CHINE), BRUTS ET PARTIELLEMENT SOLUBILISE
à partir des échantillons moyens

ECHANTILLONS	P2O5 total en % du minéral	SOLUBILITES EXPRIMEES EN % DU P2O5 TOTAL							
		Extraction 30 mn				Extraction 2 h			
		eau	AOAC	Acide citrique	Acide formique	eau	AOAC	Acide citrique	Acide formique
Brut < 160 μ	26,3	0,08	5,33		25,75	0,10	7,29		29,80
C.1.1. H ₂ SO ₄ 30	22,2	21,3	27,8	39,1	35,1	21,3	28,0	44,2	36,6
C.1.2. H ₂ SO ₄ 60	18,8	27,9	60,8	63,0	58,9	27,9	60,9	69,2	62,0
C.1.3. H ₃ PO ₄ 30	34,8	54,1	54,4	58,8	55,3	49,7	55,7	60,1	56,4
C.1.4. H ₃ PO ₄ 60	40,0	73,8	77,1	74,7	78,9	73,2	78,7	76,7	75,9
C.1.7.sulfophosphor. 30	29,8	39,0	42,3	50,9	46,0	38,5	43,7	53,0	46,3
C.1.8.sulfophosphor. 60	31,4	66,0	68,9	69,7	68,5	67,0	71,2	72,0	67,8
C.1.9.sulfonitrique 30	22,6	13,4	17,9	33,2	31,4	13,5	18,0	37,3	33,0
C.1.10. Complexe MAP 1	24,2	29,7	34,7	47,6	42,9	29,7	36,2	52,0	43,6
C.1.12. Complexe MAP 3	23,5	31,6	35,5	49,9	42,1	32,7	35,7	54,0	43,5

On constate que les meilleures solubilités sont obtenues avec les attaques phosphoriques à 60 %, les résultats sont nettement supérieurs à 60 % donc il y a un gain important de productivité. Mais l'acide phosphorique est cher et rare en CHINE, il n'est pas certain que ce soit la solution la plus économique.

Ensuite viennent les attaques mixtes sulfophosphoriques à 60 %, là aussi il y a un gain de productivité, et l'utilisation d'acide sulfurique rend cette solution plus abordable. Cette option est à retenir pour les sols peu acides ou neutres et les cultures exigeantes.

Les résultats des attaques nitriques sont décevants, nettement inférieures à celles des acides sulfuriques et phosphoriques aux mêmes niveaux de concentration.

Les attaques complexes sont intéressantes, parce qu'on utilise de l'acide sulfurique et en petites quantités, et les gains de productivité sont importants, elles représentent les solutions les plus économiques et pourraient être proposés pour les sols acides.

Confirmant les résultats de caractérisation des phosphates, le minerai de JINNING donne systématiquement des solubilités inférieures à celles de KUNYANG.

Compte tenu des résultats de solubilité dans les différents réactifs, quatre produits (tableau 5) sont retenus pour l'évaluation agronomique en vases et aux champs. On peut remarquer que leurs teneurs en P_2O_5 total sont supérieures à celles des supersimples et phosphates fondus habituellement produits en CHINE. Il reste à déterminer s'ils sont aussi efficaces à unités égales de P_2O_5 .

4. EVALUATION AGRONOMIQUE

Cette étape est essentielle et constitue la vérification de nos hypothèses. Elle a été réalisée en milieu contrôlé (en vases dans les serres) à MONTPELLIER et à NANJING, et en milieu naturel (aux champs) dans les provinces de JIANGXI, ZHEJIANG, HUNAN, GUANGDONG, JIANGSU, et de façon élargie au YUNNAN, couvrant une large gamme de sols et de culture (voir annexes).

Pour présenter les résultats de façon synthétique nous utilisons un coefficient basé sur la différence entre le traitement engrais soluble (SSP ou TSP) et le traitement témoin sans phosphate.

$$\text{Coefficient d'efficacité agronomique} = \frac{\text{PSP-Témoin}}{\text{Engrais soluble - Témoin}} \times 100$$

Ce coefficient permet d'évaluer le degré d'équivalence, à unités de P_2O_5 égales, des engrais proposés par rapport à un

TAB. 5

CARACTERISTIQUES DES PRODUITS RETENUS POUR LES ESSAIS AUX CHAMPS

PRODUITS	CODE	Teneur en P ₂ O ₅ total %	Solubilités exprimées en % du P ₂ O ₅ total après 2 h d'extraction			
			eau	citrate neutre	acide citrique	acide formique
KUNYANG :						
Att. sulfophospho.60	Ku.SP60	31,4	67,0	71,2	72,0	67,8
Att.complexe 1	Ku. CI	24,2	29,7	36,2	52,0	43,6
JINNING :						
Att. sulfophospho.60	Ji.SP60	28,4	59,1	64,6	72,2	63,8
Att. complexe 1	JI.C1	21,4	25,0	31,2	51,2	40,6

engrais soluble classique à travers différents types de sols et de cultures.

4.1. Essais en vases

Les résultats sont regroupés dans les tableaux 6 et 7. On constate que les phosphates bruts de KUNYANG et de JINNING ont une faible solubilité dans le sol et une faible efficacité agronomique, les coefficients par rapport au TSP sont respectivement de 16 % et 30 %, confirmant ainsi les résultats assez médiocres de caractérisation intrinsèque des minerais.

Par contre les deux PSP solubilisés à 60 %, donnent en moyenne des coefficients de solubilités dans le sol de 70 % et d'efficacité agronomique de 95 %, supérieurs donc aux taux d'attaque.

Les résultats obtenus à Nanjing sur 4 sols donnent une équivalence de 90 % pour les produits microgranulés et plus de 110 % pour les granulés. Il semble que les granulés éviteraient une rétrogradation des phosphates dans ces sols à fort pouvoir fixateur.

Sur l'ensemble des essais en milieu contrôlé, on peut escompter une équivalence des PSP de l'ordre de 90 % par rapport aux phosphates solubles.

TAB. 6 : ESSAIS EN VASES A MONTPELLIER

Phosphore isotopiquement diluable (valeur L) et rendement de matière sèche d'agrostis, total de 3 coupes, avec le sol de LIYANG.

TRAITEMENTS	VALEUR L ppm P	MATIERE SECHE mg	COEF.EFF.AGR. %
TEMOIN NK	22	2022	
NPK (TSP)	110	3345	100
KUNYANG BRUT	37	2359	25
JINNING BRUT	35	2492	35
KUNYANG SP 60	84	3176	87
JINNING SP 60	79	3386	103

TAB. 7 : ESSAIS EN VASES A NANJING

Rendement de matière sèche de Rye Grass, moyenne de 4 sols provenant de FENGQIU, LIYANG, QIJING, YINGTAN.

TRAITEMENTS	MATIERE SECHE g	COEF.EFF.AGRO.
TEMOIN NK	7,1	
NPK (SSP)	25,1	100
KUNYANG S 30	23,1	88
KUNYANG S 60	24,4	96
KUNYANG C 1	23,0	88
KUNYANG S 60 GRANULE	27,3	112

4.2. Essais aux champs

Les résultats de 17 essais sont regroupés dans le tableau 8. Dans l'ensemble l'efficacité des PSP est de l'ordre 95 % par rapport au SSP, cette moyenne recouvre en fait des variations importantes.

Les PSP fabriqués à partir des minerais de KUNYANG sont plus efficaces que ceux de JINNING, et les attaques mixtes sulfophosphoriques donnent de meilleurs résultats que les attaques complexes.

La variabilité de ces résultats est due d'une part aux caractéristiques des engrais et d'autre part aux conditions des milieux d'utilisation, ce qui permettrait de raisonner la fertilisation en fonction des types de sols et de cultures et de proposer des solutions plus adaptées.

L'examen des prélèvements de phosphore par la plante (Fig.1) révèle une productivité (kg de maïs/kg de P_2O_5) plus élevée avec les PSP que le SSP, sur trois types de sols et sur l'ensemble des traitements. Cette efficacité plus importante des PSP pourrait provenir de leur libération plus progressive dans le sol, et de leurs effets amendements grâce aux quantités non négligeables de calcium et de magnésium apportés en même temps que le phosphore, ces éléments sont particulièrement indiqués pour améliorer l'équilibre ionique des sols rouges acides et désaturés, assez fréquents au YUNNAN.

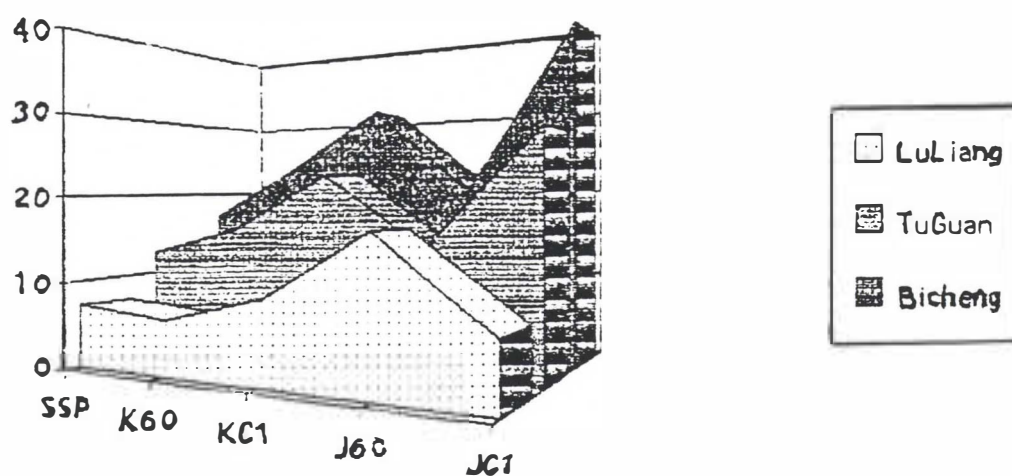
Ces résultats montrent que dans la gamme des sols étudiées, les phosphates partiellement solubilisés peuvent donner des rendements agronomiques pratiquement équivalents à ceux des

TAB. 8 : ESSAIS AUX CHAMPS

COEFFICIENT D'EFFICACITE AGRONOMIQUE RELATIVE DES PSP PAR
RAPPORT AU SSP

PROVINCES TRAITEMENTS	YUNNAN 8 ESSAIS Maïs	JIANGXI 6 ESSAIS Légumineuses	ZHEJIANG 3 ESSAIS Maïs, Soja	MOYENNE DE 3 PROVINCES
KUNYANG SP 60	132	117	98	115
KUNYANG C1	69	92	128	96
JINNING SP 60	118	65	103	95
JINNING C1	54	51	120	75

FIG 1 Productivité du phosphore assimilé : kg de maïs/P₂O₅



phosphates entièrement solubles, et que la solubilité chimique des engrais ne rend pas suffisamment compte de leurs effets sur les sols et les plantes.

4.3. Comparaison des coûts de production

Un calcul simplifié de coût de production, en tenant compte des 4 postes principaux de dépenses : phosphate naturel, acide, énergie et main d'oeuvre, montre que les PSP reviennent moins cher que le SSP (tableau 9), et si l'on se réfère au coût de l'unité fertilisante, le rapport serait de l'ordre de 60 % en moyenne.

Il s'agit bien entendu d'un calcul approximatif, en se basant sur les prix pratiqués au YUNNAN en 1991, mais qui montre déjà l'intérêt économique des PSP.

Une étude de faisabilité est nécessaire pour prendre en compte l'ensemble des facteurs liés à la filière engrais.

TAB. 9 : COMPARAISON DES COUTS DE PRODUCTION DES ENGRAIS PHOSPHATES, CAS DU YUNNAN.

ENGRAIS	Yuan/T engrais	Yuan/unité P_2O_5	Rapport PPS/SSP Coût P_2O_5
SSP à 19,5 % de P_2O_5 total	179	0,91	100
KUNYANG SP60, 31,4 % " "	157	0,50	55
KUNYANG C1, 24,2 % " "	144	0,59	65
JINNING SP60, 28,4 % " "	142	0,50	55
JINNING C1, 21,4 % " "	130	0,60	66

5. TRAITEMENT DES MINERAIS PAR PREFRAGILISATION

Ce traitement s'applique avant tout à des minerais hétérogènes présentant des phases minéralogiques bien séparées.

Principe de base :

Le minerai lors de son passage entre les deux roues d'un compacteur est soumis à des très fortes pressions (fig.2).

Ce traitement a 2 effets principaux :

- Ecrasement des phases tendres et mise en oeuvre d'un pré-broyage sélectif.
- Création d'un réseau de fissures dans la zone de contact entre les grains élémentaires de produits, effectuant une pré-séparation des phases (préfragilisation).

Des fissures sont générées en bordure des grains à cause de la différence de comportement élastique des phases minérales, lors du revenu du produit à la pression normale.

On constate alors une amélioration très nette de l'enrichissement des minerais obtenu lors des traitements minéralurgiques ultérieurs (qualité des produits et/ou amélioration du rendement de récupération).

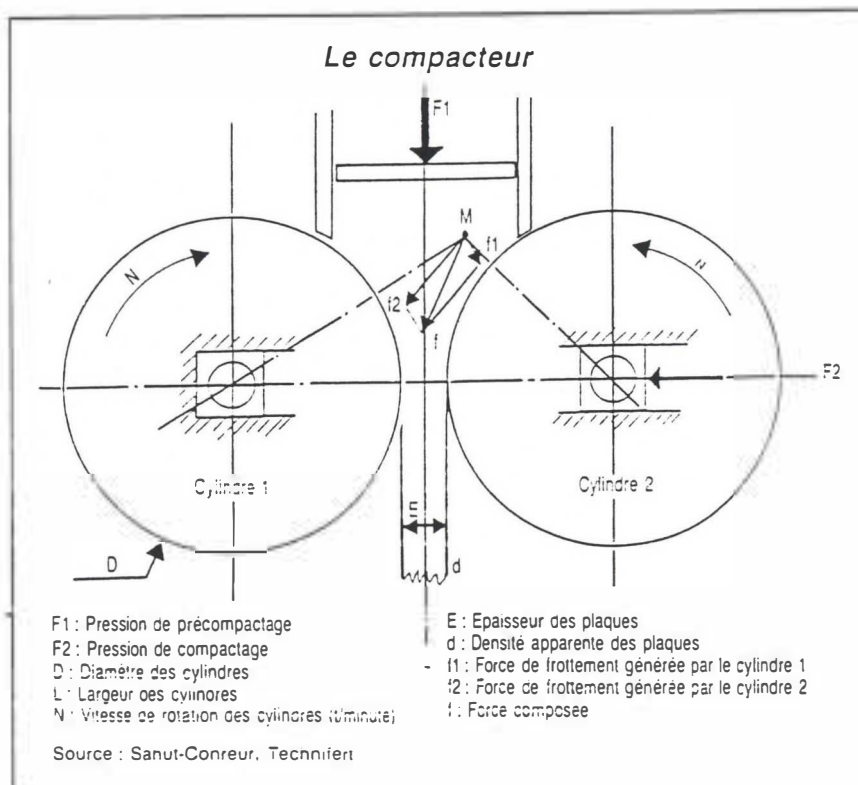
Ces traitements peuvent alors être grandement simplifiés.

Application aux minerais de phosphate

Cette technique appliquée au traitement d'enrichissement des phosphates permet très souvent d'améliorer considérablement d'une manière simple la qualité des phosphates, soit :

- * Augmentation du P_2O_5 total
- * Diminution du rapport CaO/P_2O_5
- * Diminution des teneurs en silice, MgO , Al_2O_3 et Fe_2O_3

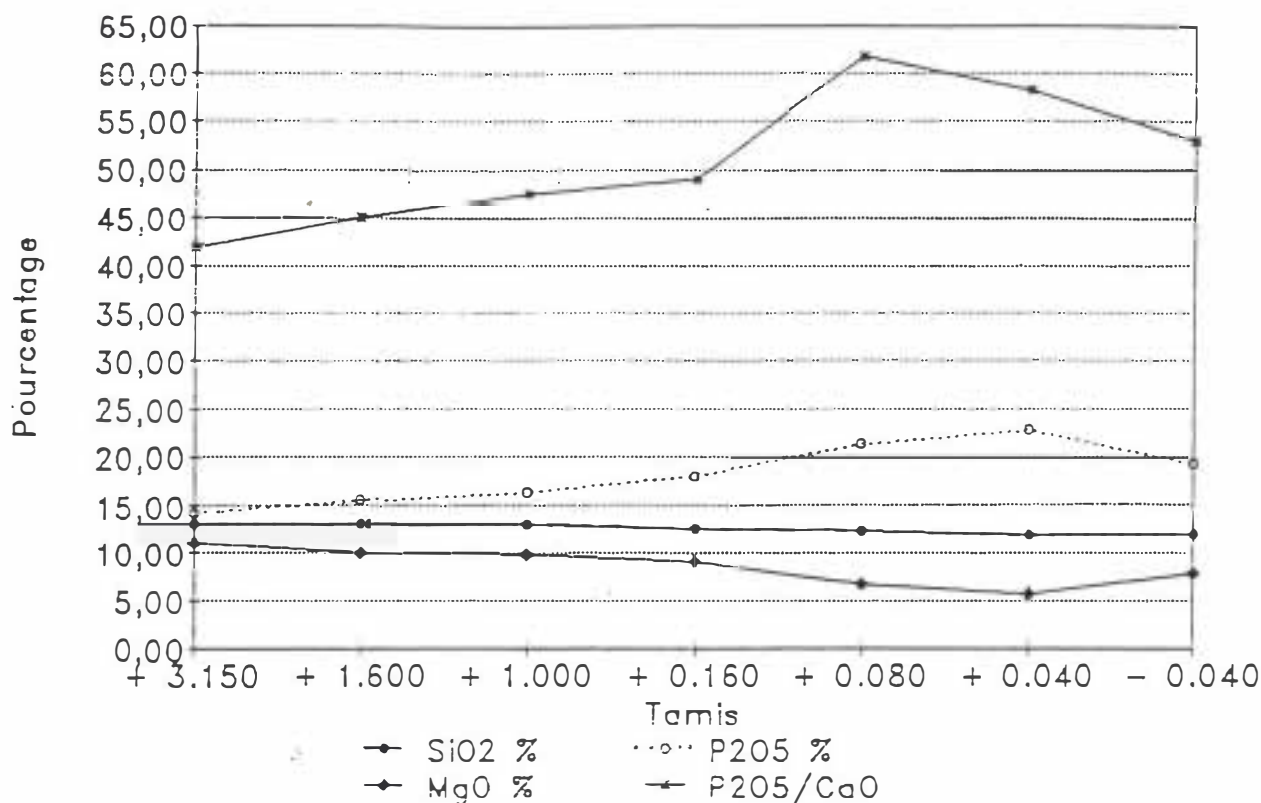
FIG. 2



SHIMEN/CHINE

Préfragilisation 2t/cm

FIG. 3



Des essais préliminaires ont été effectués sur les phosphates reçus :

KUNYANG à	26 %	de P ₂ O ₅
JINNING à	20 %	" "
KAIKOU riche	29 %	" "
HAIKOU pauvre	18 %	" "
SHIMEN	17 %	" "

Il consiste à compacter les minerais à 2, 4, 6 T/cm, et à séparer les fractions granulométriques par tamisage humide et à sec.

Dans la plupart des cas, il a été possible d'enrichir certaines fractions de 3 à 5 % en P₂O₅ après une simple préfragilisation.

SHIMEN a été particulièrement difficile à traiter, les premiers résultats (fig. 3) montrent une augmentation de la teneur en P₂O₅, du rapport P₂O₅/CaO et une diminution de la teneur en MgO, dans les fractions en dessous de 160 microns.

Tests de faisabilité

Les résultats étant difficilement prévisibles et fortement dépendants de la structure des minerais, des tests d'orientation

doivent être effectués au préalable pour juger des possibilités de mise en oeuvre du procédé.

6. GRANULATION DES ENGRAIS PAR COMPACTAGE

6.1. Principe

Le procédé de compactage est essentiellement un procédé d'agglomération sous une pression plus ou moins forte de divers produits solides pulvérulents ou non, avec utilisation ou non de liants.

L'action de la pression sur des mélanges spécialement préparés favorise la naissance de liaisons très forte entre les particules, et permet d'obtenir des produits solides densifiés et compacts.

Ces liaisons pouvant être de différente origines : forces ioniques, forces de Van der Vals, etc...

Différents moyens d'application de la pression peuvent être envisagés. Celui retenu dans le procédé de compactage des substances fertilisantes étant l'utilisation d'un appareil appelé "compacteur" (fig. 2) composé de deux cylindres d'axes parallèles appliqués très fortement l'un contre l'autre par une force généralement constante et animés chacun d'un lent mouvement de rotation en sens inverse.

6.2. Les avantages

* Procédé d'agglomération à sec ou à faible taux d'humidité

- Une consommation nulle d'énergie pour le séchage (hors cas particuliers).
- Le procédé n'utilise, en général, que de l'énergie électrique.
- Une diminution des problèmes de corrosion (d'où diminution du coût de maintenance).
- Procédé peu polluant (pas d'effluents liquides ou gazeux à traiter).
- La possibilité de fabriquer des produits impossibles ou difficiles à réaliser par voie humide. (engrais à forte teneur en urée par exemple, NPK avec apport de sels de magnésium solubilisés).

* Procédé de technologie mécanique simple

- Investissement moins élevés (utilisation de matériels et matériaux simples).

- Délai de réalisation court.
- Grande capacité d'adaptation aux conditions locales (produits, matières premières, niveau technologique, niveau de production).
- Usines de capacité et de complexité très variables (de l'usine de capacité 5 T/H semi-artisanale à l'usine ultra-automatisée capable de produire 60 T/H ou plus).
- Implantation très compacte possible du fait de la simplicité des circuits.
- Facteur de marche très élevé (en général > 90 %).
- Exploitation et maintenance simples pouvant être, dans la plupart des cas, effectuées par du personnel sans qualification particulière.
- Exploitation facile par un personnel peu nombreux

* Procédé souple et évolutif

- Procédé qui possède une très grande flexibilité
- Procédé qui possède une très grande souplesse d'utilisation de matières premières, permettant d'optimiser en permanence le coût des matières premières (tableau 10).
- Procédé qui permet de changer rapidement de fabrication, tout en limitant les erreurs de formulation lors du changement (un changement de fabrication peut se faire en moins d'une heure sur un grand atelier).
- Procédé qui permet de fabriquer, dans le même atelier, par exemple :
 - un phosphate naturel compacté
 - un 17/17/17
 - un produit tel que 14/8/20 avec 3 MgO, 1 B₂O₃, etc...
- L'usine peut facilement être conçue pour pouvoir évoluer techniquement dans le temps, au fur et à mesure du développement de son marché.

6.3. Projet au YUNNAN

Une étude est en cours pour la réalisation d'une unité de production de 100.000 T/an d'engrais complexes NP et NPK de différents équilibres, stables dans le temps, pouvant être transportés à longues distances, et utilisant un maximum de matières premières locales.

C'est bien la preuve de l'intérêt des industriels du YUNNAN pour cette technologie.

MATIERES PREMIERES POUVANT ENTRER DANS LA CATEGORIE AUTRES MATIERES PREMIERES

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	S	OLIGO ELEMENTS	MAT. ORGANIQUES
PHOSPHATE		•						
PHOSPHATE PARTIELLEMENT SOLUBILISÉ		•				•		
SUPER SIMPLE		•				•		
SUPER TRIPLE		•						
PHOSPHATE ALUMINO-CALCIQUE		•						
SCORIES DE DEPHOSPHORATION		•					•	
PHOSPHATE BICALCIQUE		•						
PHOSPHATE DE POTASSIUM		•	•					
MAP	•	•						
DAP	•	•						
SULFATE D'AMMONIUM	•					•		
CARBONATE D'AMMONIUM	•							
NITRATE D'AMMONIUM	•							
CHLORURE D'AMMONIUM	•							
NITRATE DE POTASSE	•		•					
CYANAMIDE	•							
URÉE	•							
URÉE - SOUFREE	•					•		
SULFO-NITRATE D'AMMONIUM	•					•		
NITRATE DE CALCIUM	•							
NH ₃	•							
SULPOMAG			•		•	•		
SULFATE DE POTASSIUM			•			•		
CHLORURE DE POTASSIUM			•					
RESIDU FABRICATION LYSINE	•		•			•		•
CHLORURE MIXTE SODIUM POTASSIUM			•	•				
CHLORURE DE SODIUM				•				
PHOSPHATE DE SOUDE	•			•				
PHOSPHATE CALCO-MAGNESIEN	•				•			
SOUFRE						•		
KIESERITE					•	•		
OXYDE DE MAGNÉSIUM					•			
DOLOMIE					•			
CARBONATE DE MAGNÉSIUM					•			
COLEMANITE							•	
BORATE DE SODIUM				•			•	
MAERL					•		•	
ISOBUTYLÈNE DI-URÉE	•							
VINASSES	•		•			•		•
MELASSES								•
CORNE BROYÉE	•							•
DECHETS DE CUIR TORRÉFIÉ	•							•
RESIDUS AGRICOLES SECHÉS	•							•
FIENTES DE VOLAILLES	•	•	•		•			•
SO ₄ Cu - Cu ₂ O						•		
SO ₄ Zn - Zn O							•	
SO ₄ Mn - Mn O ETC							•	

7. CONCLUSIONS

Après trois années de coopération, les résultats montrent qu'il est possible de fabriquer une gamme assez large de phosphates partiellement solubilisés à partir des minerais de qualité moyenne à médiocre.

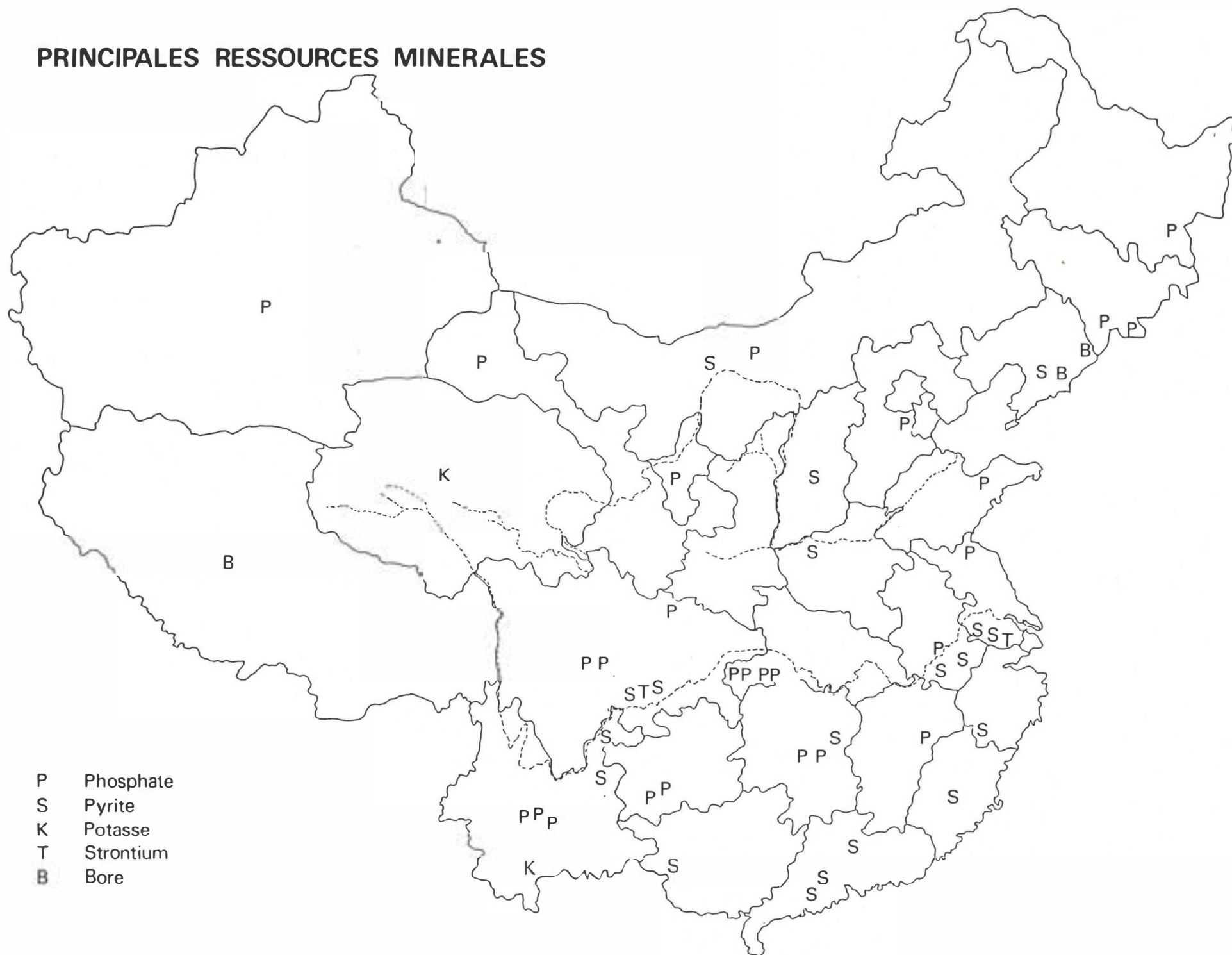
Leur efficacité agronomique a été évaluée en serre, et confirmée par un vaste réseau d'expérimentation aux champs dans quatre provinces du sud et du centre de la CHINE. Leur équivalence est de l'ordre de 90 à 95 % par rapport à un phosphate soluble, pour un coût de revient de l'ordre de 55 à 60 %.

L'enrichissement des phosphates par préfragilisation a donné des premiers résultats encourageants, cette technique pourrait être appliquée sur des phosphates médiocres pour les rendre aptes à la fabrication des PSP ou SSP, et sur les phosphates de qualité moyenne pour les rendre compatibles aux exigences de production des engrais plus concentrés.

Il reste à trouver des partenaires industriels pour prendre le relais de ces travaux, comme c'est déjà le cas pour le compactage-granulation des engrais au YUNNAN.

ANNEXES

PRINCIPALES RESSOURCES MINERALES



CARACTERISTIQUES DES PRINCIPAUX PHOSPHATES DE CHINE

N°	Province	Type de phosphate	% P ₂ O ₅ total	% P ₂ O ₅ solubilité citrique	% citrique total
1	ANHUI	Sédimentaire	21,5	4,9	23
7	"	Métamorphique	30,4	3,0	10
38	"	"	25,3	3,1	12
43	GANSU	Sédimentaire	28,9	3,5	12
44	"	"	21,0	0,2	1
30	GUANGDONG	"	34,3	5,3	15
2	GUANGXI	"	14,7	5,6	38
23	"	"	29,0	6,3	22
81	"	Guano	23,3	18,7	80
77	GUIZHOU	Sédimentaire	35,9	6,6	18
28	HEILONGJIANG	Métamorphique	4,9	0,8	17
17	HENAN	Sédimentaire	32,4	5,2	16
56	"	"	31,0	5,2	17
13	HUBEI	Métamorphique	30,4	2,2	7
21	"	Sédimentaire	25,5	3,9	15
26	"	"	19,6	1,6	8
35	"	Métamorphique	26,2	3,0	11
32	HUNAN	Sédimentaire	21,3	1,5	7
79	JIANGSU	Métamorphique	25,1	0,2	1
9	JIANGXI	Sédimentaire	19,0	4,3	22
11	LIAONING	Igné	4,2	1,1	27
15	"	Métamorphique	4,8	0,8	17
75	SHANXI	Sédimentaire	25,5	5,7	22
60	SICHUAN	"	29,0	3,5	12
65	"	"	14,4	0,7	5
78	"	"	32,3	4,2	13
19	YUNNAN	"	26,8	6,3	23
40	"	"	25,5	5,1	20
58	ZHEJIANG	"	23,6	2,2	9

ESSAIS AUX CHAMPS REALISES PAR L'ISSAS EN 1990/1991

* Résultats disponibles pour le Comité de Pilotage de Janvier 1991

	1990		1991
	1ere cult. cult.	2ème	
Province de JIANGXI :			
YINGTAN (YUJIANG)	arachide*	sarrasin*	sarrasin
JINXIAN	sésame *	navet	navet
SHANGGAO	patate douce*	navet	
SHANGGAO	soja *	radis	
XINJIAN	soja *		
JIAOJIANG	sesame *	navet	navet
Province de ZHEJIANG :			
JINHUA	soja *	navet	
"	soja *		
"	soja		
DONGYANG	maïs *		
Province de HUNAN :			
NINXIANG	soja *		
Province de GUANGDONG:			
HUAZHOU	soja		
Province de JIANGSU :			
LIYANG			navet
TOTAL 22	12	6	4

ISSAS : CARACTERISTIQUES DES SOLS POUR LES ESSAIS AUX CHAMPS

ANALYSES	JIANGXI YINGTAN ARACHIDE	JIANGXI JINXIAN SESAME	JIANGXI SHANGGAO PATATE DOUCE	JIANGXI XINJIAN SOJA	JIANGXI JIAOJIANG SESAME	SBEJIANG JINTIUA SOJA	SHEJIANG DONGYANG MAIS	HUNAN WUXIANG SOJA	JIANGSU LIYANG NAVET
Type de sol	Sol rouge	jaune-brun	rouge	rouge	jaune-brun	rouge	rouge	rouge	rizière
pH eau	4,5	4,9	6,6	5,0	5,9	5,5	4,9	5,1	
Mat.org. %	1,92	1,3	1,9	1,8		2,0	2,28		1,4
N total %	0,98		1,1		0,6				
P Olsen ppm	4,8	4,5	4,3	4,0	8,7	9,5	5,0	5,5	5,3
P fixé ppm	356	95	252	283	178	195	346	317	189
K éch. méq	8,4	3,0	7,4	8,5	3,8	3,4	10,5	5,5	6,0
K lent. ass. méq.	10,6	6,3	17,6	13,0	26,0	9,6	14,4	23,7	14,0

YUNNAN : CARACTERISTIQUES DES SOLS

ANALYSES	AN LING	MI LE	XUN DIAN	JIANG CHUAN
Argiles %	12,4	33,4	14,0	20,0
Limons %	21,6	22,6	25,6	30,6
Sables %	66,0	47,5	60,4	54,8
Mat. Org. %	3,33	2,00	2,71	2,62
Azote soluble %	0,13	0,08	0,10	0,09
Azote total %	0,17	0,10	0,16	0,15
P total ppm	698	262	873	698
P Olsen ppm	6	9	18	19
K éch. méq/100 g	0,63	0,58	2,08	2,03
Somme bases éch. méq/100g	10,86	11,60	16,03	10,51
Acidité	5,27	1,94	5,48	5,56
CEC	16,13	13,54	21,51	16,07
Saturations %	65	85	74	65
pH eau	5,5	5,8	5,2	5,5
pH Kcl	4,6	5,0	4,8	4,7

YUNNAN : CARACTERISTIQUES DES SOLS

ANALYSES	LU FENG BICHENG	LU FENG TU GUAN	YU XI	LU LIANG
Argiles %	14,4	12,4	12,4	18,4
Limons %	15,6	21,6	17,2	16,6
Sables %	70,0	66,0	70,4	67,2
Mat. Org. %	2,20	2,98	1,40	1,62
Azote soluble %	0,09	0,13	0,05	0,09
Azote total %	0,12	0,16	0,08	0,08
P total ppm	524	480	436	305
P Olsen ppm	26	13	25	15
K éch. méq/100 g	0,90	1,44	0,61	1,47
Somme bases éch. méq/100g	6,46	10,16	6,27	11,78
Acidité	5,45	3,94	4,35	3,29
CEC	11,91	14,10	10,62	15,07
Saturation %	54	72	59	78
pH eau	5,3	5,3	5,2	6,5
pH Kcl	4,5	4,3	4,4	5,8

BIBLIOGRAPHIE

- CIRAD-IRCI - " Collaborative project : Field experiment of PSP efficiency at YUNNAN Province. Joint Report of 1990-1991 results, Paris, Jan. 1992, 30 p.
- CIRAD-ISSAS - Collaborative project : Improvement of the efficiency of Chinese rock phosphate. Doc. Steering Committee, Nanjing, 1990, 34 p.
- CHESSON M.W. - China phosphates. Séminaire IFA, Monte Carlo, 22 juin 1988, 29 p.
- FAYARD C., HERVIEU P. - Le compactage-granulation des engrais : une fertilisation sur mesure. Informations Chimie N° 325, Jan-Fév. 1991, 5 p.
- FOK AH CHUEN M. - Suivi de l'expérimentation agronomique et contact avec le monde industriel des engrais. Rapport de mission 5 sept-24 oct. 1990. Rapport IRAT, 63 p.. Nov. 1990.
- PAUL I. - Approche de la caractérisation et de l'efficacité agronomique de phosphates chinois bruts et partiellement acidifiés, provenant des gisements de KUNYANG et JINNING. Rapport ENSAIA, 31 p., Sept. 1989.
- STONE B. - Chinese fertilizer application in the 1980 s and 1990 s : issues of growth, balance, allocation, efficiency and response. - IFPRI reprint N° 89, from China's Economy Looks Toward the year 2000, May 1986, p. 453-496.
- TRUONG B., FAYARD C. - Développement d'engrais à base de phosphates naturels Chinois. Mission d'inventaire en CHINE 9 Oct.-2 Nov. 1987. Rapport IRAT E. & A. N° 4, déc. 1987, 24 p.
- TRUONG B. - Projet phosphate en CHINE. Rapport de mission à NANJING et au YUNNAN 18-25 nov. 1989. - Rapport IRAT E. & A. N° 5, déc. 1989, 19 p.
- ZHANG KAIYAN - The development of phosphate and phosphate fertilizer industry in CHINA. Séminaire ONUDI, GAFSA, TUNISIE, 18-22 nov., 1985, 4 p.